

(1)

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 44 33 593 A 1

51 Int. Cl. 6: 2779
G 05 B 13/00
A 23 P 1/12
B 29 C 45/76
B 29 C 47/92
B 22 D 17/32

21 Aktenzeichen: P 44 33 593.8
22 Anmeldetag: 21. 9. 94
43 Offenlegungstag: 1. 6. 95

DE 44 33 593 A 1

30 Unionspriorität: 32 33 31
30.11.93 CH 03565/93

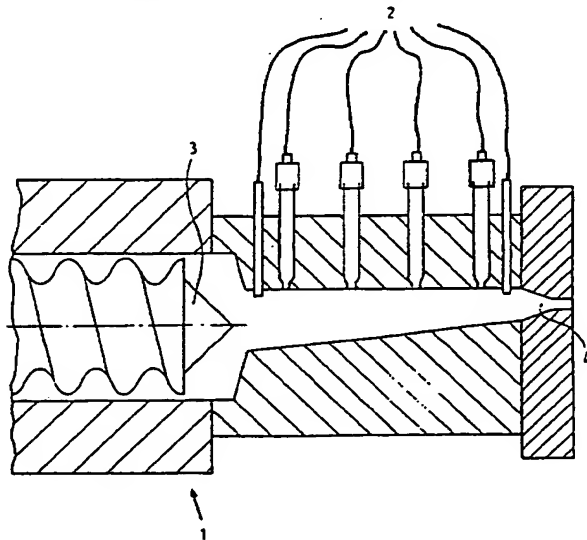
71 Anmelder:
Bühler AG, Uzwil, CH

74 Vertreter:
Fritzsche, R., Rechtsanw., 3300 Braunschweig

72 Erfinder:
Van Lengerich, Bernhard, Dr., Uzwil, CH; Schaer,
Richard, Wittenbach, CH; Scheitlin, Peter, St.
Gallen, CH; Sievi, Erwin, Neuwilen, CH

64 Verfahren zur Regelung einer Arbeitsmaschine und danach arbeitende Regelung sowie ein Sensor hierzu

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Arbeitsmaschine und eine danach arbeitende Regelung sowie einen Sensor hierzu. Die Erfindung ist insbesondere auf die Regelung von Extrudern zur Herstellung von Lebensmitteln gerichtet, deren Regelung bekanntlich in hohem Maße von subjektiven Entscheidungskriterien beeinflusst wird. An Hand von Versuchsdaten und/oder Expertenwissen werden Daten für Sollwertvorgaben einer Regelung erstellt, deren Stellgrößen von der Produktqualität abhängen. Mittels dieser Sollwertvorgaben wird ein Arbeitspunkt optimiert und stabilisiert und ein in die Maschinensteuerung integrierter Regler erstellt.



DE 44 33 593 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung, insbesondere eines Extruders nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine, nach diesem Verfahren arbeitende Regelung sowie einen on line Sensor hierzu. Sie betrifft vor allem solche Arbeitsmaschinen, deren Steuerung und Regelung von zumeist mehreren subjektiven Entscheidungsgrößen beeinflusst wird, insbesondere die Regelung von Extrudern zur Herstellung von Lebensmitteln einerseits und das Konstanthalten durch eine oder mehrere on line Meßgrößen andererseits.

Die Steuerung bzw. Regelung eines Extruders unterliegt einer Vielzahl von Einflußgrößen. Extrusionsprodukte werden hinsichtlich Quantität und Qualität von verschiedensten Eingangsgrößen beeinflusst. Hieraus ergeben sich vielfältige Variationen von Stellgrößen, die in hohem Maße von der Erfahrung und der Einfühlung des jeweiligen Bedienpersonals abhängen. Vor allem die Extrudierung neuer Produkte erfordert einen hohen Einstellungsaufwand ausgehend von bekannten Arbeitspunkten mit ähnlichen Produkten. Da die Charakteristik der Regelstrecken wesentlich von der Extruderkonfiguration abhängt, geschieht dies weitgehend nach dem Prinzip "trial and error". Ist ein gesuchter Arbeitspunkt erreicht, kann dieser nach einer gewissen Lernphase stabilisiert/optimiert werden. Diese Vorgehensweise ist notwendig, da aus den Erfahrungen einer bestimmten Extruderkonfiguration und bekannten Rezepturen nicht eindeutig auf das Verhalten in einem neuen Arbeitspunkt geschlossen werden kann.

Das Bedienpersonal arbeitet üblicherweise in einem mehrdimensionalen Regelraum mit mehreren Stellgrößen. Im allgemeinen ist der Mensch nicht in der Lage, diesen Regelraum in Echtzeit zu überblicken. Erfahrungen und Beobachtungen sind meist nur auf zwei Dimensionen erstreckbar, was eine optimale Regelung ausschließt.

Seit langem wird daher versucht, diese komplizierten Steuerungs- und Regelungsfunktionen zu automatisieren. Aufgrund der Fülle von Einflußgrößen konnte dies bisher nur unvollkommen und mit sehr hohem Aufwand realisiert werden, da eine geschlossene, mathematische Beschreibung des Extrusionsvorganges von Lebensmitteln mit genügender Präzision in der Vielzahl seiner Parameter nicht existent ist.

Für Regelvorgänge mit komplexen Wirkzusammenhängen oder mit problematischer Ermittlung von Kenngrößen (Eingang) sind bereits sogenannte Fuzzy-Regler, z. B. aus der EP-A-355753 und der EP-B-290999, bekanntgeworden, die jedoch durch eine aufwendige Signalverarbeitung gekennzeichnet sind.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Regelung einer Arbeitsmaschine zu entwickeln, das eine Optimierung und Stabilisierung bzw. adaptive Anpassung eines Arbeitspunktes, insbesondere bei einem Extruder zur Extrusion von Lebensmitteln ermöglicht. Diese Aufgabe wird mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Die Aufgabe der Erfindung besteht des weiteren darin, für produktspezifische Regelstrecken Regler mit der vorhandenen Datenbasis zu generieren. Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, nach dem erfindungsgemäßen Verfahren arbeitende Regler und Code-Generatoren, d. h. die zur Erstellung solcher Regler notwendigen Hilfsmittel zu schaffen, die eine Optimierung und Stabilisierung eines gefundenen Arbeitspunktes ermöglicht. Diese Aufgabe wird mit den kennzeichnenden Merkmalen

der Ansprüche 7 und 8 gelöst. Der erfindungsgemäße Viskositätssensor ist in Anspruch 9 offenbart.

Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind in den Unteransprüchen offenbart.

Ausgangspunkt der Erfindung ist die Überlegung, daß, insbesondere bei der Herstellung von Lebensmitteln die Beurteilung der Produktqualität von vielen subjektiven Entscheidungskriterien beeinflusst wird, wobei diese Kriterien zumeist nur durch menschliche Sinne determiniert sind. Sie sind in hohem Maße von Expertenwissen abhängig und/oder müssen nach Versuchen durch sensorische und analytische Beurteilung ermittelt werden. Die Fülle der zu ermittelnden Daten ist so umfangreich (mehrdimensional), daß die Erstellung einer Regelung gerechtfertigt ist. Durch die Verbindung von Produktqualität und Stellgrößen kann die Regelstrecke als "black box" betrachtet werden. Hierbei werden scheinbare Zusammenhänge dargestellt, die den wirklichen nicht zwingend entsprechen müssen. Wie auch beim menschlichen Denken besteht kein Anspruch auf die wirklichen physikalischen Zusammenhänge. Mittels eines üblichen Rechnersystems werden die Zusammenhänge umgekehrt und Stellgrößen in Abhängigkeit von der gewünschten Produktqualität und on line Meßgrößen angeboten. Die Erstellung erfolgt in einer Programmiersprache sowie ihre Integration in eine konventionelle Maschinensteuerung (Sollwert-Vorgabe). Aus dem bekannten Stand der Technik heraus ist es nicht offensichtlich, durch Versuchsplanung und Abfahren eines Kennfeldes und Überspringen von Systemparametern den Einfahraufwand eines Extruders drastisch zu reduzieren (Parameterreduzierung).

Es ist selbstverständlich, daß alle Daten für weitere Untersuchungen oder technische Anwendung gespeichert werden.

Zur Erstellung eines solchen ersten Systems können verschiedene Versuchsdesign gewählt werden.

Die Integration eines Viskositätssensors ermöglicht eine Regelung (Betriebspunktstabilisierung) mit on line Meßgrößen. Derartige Meßgrößen sind die Produkttemperatur und der Druck vor der Düse, die spezifische, mechanische Energieeinleitung, insbesondere die viskosen Eigenschaften und ggf. auch die Verweilzeit.

Ein solcher Viskositätssensor ist in an sich bekannter Weise zwischen Schneckenspitze und Düse installiert und ermöglicht die Messung der Fließ- und Viskositätskurve unter Produktionsbedingungen (ganzer Produktstrom oder Teilstrom). Der Viskositätssensor stellt somit einen Hauptteil der Regelstrecke dar.

Die Produkteigenschaften werden durch die gewählte Vorgehensweise (Rechenmethode) eindeutig den on line Meßgrößen zugeordnet und umgekehrt. Die Stellgrößen sind eindeutig als Funktion, Regressionsgleichung, Fuzzysystem oder neuronales Netz der on line Meßgrößen beschreibbar:

$$x, m, n, Td, TG = f(p, T, SME, t, n).$$

Bei Abweichungen von einer oder mehrerer abhängigen Größen werden die unabhängigen Variablen angepaßt.

Mit den vorhandenen Daten ist es weiterhin möglich, eine entsprechende Automatisierung vorausgesetzt, für weitere, produktspezifische Regelstrecken entsprechende Regelungen zu adaptieren, d. h. für jede Regelstrecke quasi "auf Knopfdruck" einen Regler zu generieren. In einem adaptiven System (lernfähig mit nichtlinearer Abbildung der Regelstrecke) können während

der Produktion gefahrene Punkte in die Systembildung einbezogen werden, so daß dieses erweitert oder an veränderte Bedingungen angepaßt werden kann.

Neben der genannten unscharfen Logik (Fuzzy) und der Regression können die Wirkzusammenhänge prinzipiell auch durch neuronale Netze oder mathematische Modellierung dargestellt werden. Eine derartige Modellierung ist jedoch sehr aufwendig und läßt zudem eine Darstellung als "black box" nicht zu (neuronale Netze ausgenommen).

Die erfindungsgemäße Anwendung zeigt als wesentlichen Vorteil, die Erfahrungen des Bedienpersonals in einer aufwandsarmen und damit kostengünstigen Regelung zu automatisieren. Wie bekannt zeigte sich, daß die Fuzzy-Logic sehr gut geeignet ist, Prozesse mit komplizierten Wirkzusammenhängen wie z. B. an Extrudern mit bezahlbarem Aufwand zu regeln. Es ist möglich, auf eine genaue mathematische Modellierung der Regelstrecke zu verzichten und eine Regelcharakteristik für jeden neuen Arbeitspunkt einer vorgegebenen Extruderkonfiguration zu erstellen. Linguistische Daten zur Erreichung eines Arbeitspunktes werden "fuzzyfiziert". Es entsteht kein dynamisches System beim Anfahren und es ist scheinbar langsamer als konventionelle Logik, jedoch schneller und vor allem sicherer und reproduzierbarer arbeitend, als dies dem Menschen möglich ist.

Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel näher beschrieben. Die zugehörige Zeichnung zeigt einen Viskositätssensor in einer Prinzipdarstellung.

Die besondere Schwierigkeit bei der Regelung des Extrusionsvorganges liegt darin, daß sich die Erfahrungen des Bedienpersonals stets auf eine bestimmte Extruderkonfiguration für genau vorgegebene Rezepturen bei einem bestimmten Arbeitspunkt beschränken. Diese Erfahrungen sind nicht eindeutig auf andere Produkteinstellungen übertragbar, die Charakteristik der Regelstrecke ändert sich von Punkt zu Punkt. Es ist so nicht möglich, eine Regelung zu konzipieren, die jeden beliebigen Extrusionsvorgang zu regeln vermag. Es ist daher zunächst erforderlich, Daten und Erfahrungen über die Wirkzusammenhänge zwischen Stellgrößen (z. B. Drehzahl, Massestrom, Wassergehalt) und Produktkriterien (z. B. Farbe, Löslichkeit, Expansionsgrad) zu ermitteln, z. B. durch Abfahren verschiedener Konfigurationen am Extruder. Hierzu werden die einzelnen Stellgrößen so variiert, daß der Regelraum, in dem sich der oder die gesuchten Arbeitspunkte befinden, abgedeckt wird. An spezifischen Punkten werden Stichproben des Produkts entnommen und an Hand von Produktkriterien klassifiziert. Gemessen werden on line Größen. Mittels derartiger "Stützstellen" werden Bereiche festgelegt, in denen sich die gesuchten Arbeitspunkte befinden.

In einer ersten Regelungsstufe erfolgt eine Annäherung an den gewünschten Arbeitspunkt. Die gewünschte Kombination der Produktkriterien wird als absolute Größe an einen Regler angelegt und dieser generiert absolute Stellgrößen als Ausgangssignal. Der Extruder wird daraufhin aus dem Stand via vorgegebener Rainbowfunktion in den vorgegebenen Arbeitspunkt gefahren (Rampen). Gleichzeitig wird um den Arbeitspunkt herum in an sich bekannter Weise ein Wirkmodell erstellt, welches in diesem Bereich die Zusammenhänge zwischen der Veränderung einer on line Meßgröße und Stellgröße und der daraus resultierenden Änderungen der Produktkriterien beschreibt.

Befindet sich der Extruder im gewünschten Arbeits-

punkt, erfolgt in einer zweiten Regelungsstufe eine Annäherung an den optimalen Arbeitspunkt auf Grund von Produktkriterien an Hand linguistischer Begriffe. Ein Fuzzy-Regler erzeugt aus diesen Angaben inkrementelle Eingangsgrößen. Damit kann sich das System beliebig (im Gegensatz zu absoluten Stellgrößen) nah an einen optimalen Arbeitspunkt herantasten, es ist weiterhin nicht erforderlich, Nichtlinearitäten der Regelstrecke zu beachten. Bei genügend kleinen Inkrementen folgt der Regler automatisch jedem nichtlinearen Kurvenverlauf.

Zur Stabilisierung des Betriebspunktes kann eine dritte Regelungsstufe eingesetzt werden. Ihr Zweck besteht darin, die in der zweiten Regelungsstufe gemessenen on line Meßgrößen stabil zu halten und somit die Produktqualität zu stabilisieren. Dies ist möglich, da die Qualitätskriterien des Produkts und die on line Meßgrößen eindeutig aufeinander abbildbar sind. Die Stellgrößen werden bei Änderungen der on line Meßgrößen in einem dynamischen System bei einem Abdriften derart angepaßt, daß die on line Meßgrößen wieder auf ihre ursprünglichen Werte gesetzt werden.

Bei gezielter Veränderung des Betriebspunktes aus der zweiten Regelungsstufe werden die Sollwerte (on line Meßgröße) aus der dritten Regelungsstufe angepaßt und auf den neuen Werten erneut stabilisiert.

Der verwendete Viskositätssensor kann in an sich bekannter Weise sowohl keilförmig als auch in Stufen ausgebildet sein, wie dies z. B. in der DE-OS 42 20 157 beschrieben ist. Die in der Figur dargestellte Keilform stellt eine vereinfachte Konstruktion dar, die jedoch zur on line Messung vollumfänglich (extruderunabhängig) geeignet ist. Hierzu ist in einem Extruder 1 ein in line Viskositätssensor 2 in an sich bekannter Weise und in einer an sich bekannten Anordnung zwischen einer Schnecken Spitze 3 und einer Düse 4 des Extruders 1 installiert.

Es ist unvermeidlich, für jedes zu extrudierende Produkt einen speziellen Regler zu entwickeln. Dies gestattet andererseits, die Regler nach einem bestimmten Algorithmus zu erzeugen.

Die Codegenerierung erfolgt in einem separaten Vorgehensmuster dergestalt, daß ein spezifischer Regelraum manuell abgefahren wird und eine Klassifizierung der gewonnenen Daten erfolgt. Auf Basis dieser Informationen wird ein Vektor der Produktkriterien eingegeben und ein spezieller Regler zur Optimierung und Stabilisierung des Arbeitspunktes erzeugt. Dieser kann dann direkt in die bereits bestehende Regelungsumgebung integriert werden.

Das Bedienpersonal kann so den Extruder auf Grund visueller Produktbeurteilung mit linguistischen Variablen einfach optimieren und damit on line Meßgrößen stabilisieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer Arbeitsmaschine unter Verwendung statistischer und mathematischer bzw. informationstechnischer Verfahren sowie an sich bekannter Maschinensteuerungen, dadurch gekennzeichnet, daß

— an Hand von Versuchsdaten und/oder Expertenwissen Daten für Sollwertvorgaben einer Regelung für eine Maschinensteuerung erstellt werden, deren Stellgrößen von einer subjektiv vorbestimmten und sensorisch oder analytisch kontrollierten Produktqualität abhängen.

vgl. Sp. 2
Z. 40ff

gen und

- mittels dieser Sollwertvorgaben ein Arbeitspunkt optimiert und stabilisiert wird und
- ein Regler erstellt und in die Maschinensteuerung integriert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß nach einer Eingabe und Speicherung der ermittelten Daten automatisiert Regelungen für spezifische Regel strecken adaptiert und spezifische Regler generiert werden. 5
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelgrößen und die Stellgrößen als linguistische Variablen mittels einer Logik verarbeitet und zur Annäherung an einen optimalen Arbeitspunkt sowie dessen Stabilisierung verwendet werden. 10
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß, ausgehend von bekannten Maschinendaten und ermittelten Prozeßdaten zu verändernde Stellgrößen generiert werden und danach in an sich bekannter Weise ein produktspezifischer Regler erstellt wird. 15
5. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Erstellung bzw. Generierung eines Reglers mittels Regression, Fuzzy oder neuronaler Netze erfolgt. 20
6. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Arbeitsmaschine ein Extruder ist. 25
7. Regler zur Ausführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Regler ein prozeßregelnder Fuzzy- oder anderer Regler ist. 30
8. Code-Generator zur Ausführung des Verfahrens nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Code-Generator in die Regelungsumgebung integriert ist. 35
9. Extruder zur Herstellung von Lebensmitteln, dadurch gekennzeichnet, daß ein in line Viskositäts-sensor (2) in an sich bekannter Weise zwischen einer Schnecken spitze (3) und einer Düse (4) des Extruders (1) installiert ist. 40

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

45

50

55

60

65

- Leerseite -

(1)

